

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- -SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In r Application of: Christian Kratzsch et al.  
For: Method For Shaping Materials With Plasma-Inducing  
High-Energy Radiation  
Attorney's Docket No.: STUR-35  
Date: April 6, 2001

BOX PCT  
Assistant Commissioner For Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

FILING OF PATENT APPLICATION UNDER 37 CFR 1.10

The attached patent application is being filed under the provisions of 37 CFR 1.10.

Applicants hereby claim foreign priority benefits under Title 35, United States Code, Section 119, of International Application No. PCT/DE99/00697, filed March 13, 1999 and German Patent Application No. 198 46 191.7, filed October 7, 1998.

Applicants' attorney is also submitting the requisite fee on the basis of Small Entity Status, which the Applicants hereby assert, as calculated on the attached transmittal letter.

"EXPRESS MAIL" MAILING LABEL NUMBER EE320348447US

DATE OF DEPOSIT 4/6/01

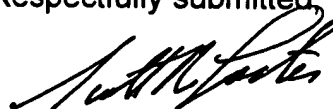
I HEREBY CERTIFY THAT THIS PAPER OR FEE IS BEING DEPOSITED WITH THE UNITED STATES POSTAL SERVICE "EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE" SERVICE UNDER 37 CFR 1.10 ON THE DATE INDICATED ABOVE AND IS ADDRESSED TO THE ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS, WASHINGTON, D.C. 20231.

Scott R. Foster

(PERSON MAILING)

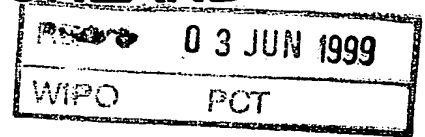
(SIGNATURE)

Respectfully submitted,



Scott R. Foster  
Reg. No. 20,570  
Pandiscio & Pandiscio  
470 Totten Pond Road  
Waltham, MA 02451-1914  
(781) 290-0060

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



DE 99 / 697

4

**Bescheinigung**

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV in  
München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung von Prozessen  
mit schwacher Plasmaemission"

am 7. Oktober 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Das angeheftete Stück ist eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlage dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol  
B 23 K 26/00 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 14. April 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Dzierzon

Aktenzeichen: 198 46 191.7



## Patentanmeldung:

Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung von  
Prozessen mit schwacher Plasmaemission

Anmelderin:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

## Technisches Gebiet

Die Materialbearbeitung mit Hochenergiestrahlung (LASER) bedarf bei ihrer Anwendung der on-line Qualitätsüberwachung. Das Erkennen von qualitätsmindernden Merkmalen der Bearbeitung und das Steuern bzw. die Regelung der Verfahrensparmeter ist wünschenswert, um die geforderten Eigenschaften der Bearbeitungsmerkmale zu erreichen und einzuhalten.

Einige der wesentlichen nach der Bearbeitung vorliegenden Merkmale sind durch zeitlich und räumlich aufgelöste Beobachtung der Wechselwirkungszone, wo der Laserstrahl das Werkstück trifft, schon während der Bearbeitung bestimmbar. Einige technisch relevante Bearbeitungsmerkmale, die beim Schweißen zuverlässig überwacht werden müssen, sind:

- die Eindringtiefe der Dampfkapillaren, um die minimale/maximale Einschweißtiefe einhalten zu können,
- die Fläche der Dampfkapillare an der Oberseite des Werkstückes, um eine ausreichende Überdeckung des Fügespalt durch die Schweißnaht zu gewährleisten,
- die Breite der Dampfkapillaren in einer vorbestimmten Tiefe, um den notwendigen tragenden Querschnitt einer Schweißverbindung nicht zu unterschreiten,
- die Fläche der Dampfkapillaren an der Unterseite der zu verschweißenden Werkstücke, um die sichere Durchschweißung aufrecht erhalten zu können und um sogar einen vorbestimmten Wert für die Wurzelbreite der Schweißnaht zu erreichen,
- die laterale Spaltbreite zwischen zwei horizontal nebeneinander angeordneten Werkstücken entlang der Schweißrichtung muß verfolgt werden, um eine sichere Spaltüberbrückung beim Schweißen eines Stumpfstoßes zu überwachen,
- die Form der Fügekante am Ort der Dampfkapillaren, um den Einfluß von Unregelmäßigkeiten in der Kantenvorbereitung auf das Schweißergebnis zuordnen zu können. Dies ist eine zusätzliche Frage der Schweißfehlerzuordnung, um die Ursache für Schweißfehler zu erkennen,

- die zeitliche Stabilität der Dampfkapillaren, um die Tropfen- bzw. Spritzerbildung und deren Ursachen zu erkennen.

Zusätzliche Aufgaben können insbesondere beim Verschweißen von dünnen, ungleichen Werkstücken (sogenannten „tailored blanks“) auftreten. Hierbei erfordern die unterschiedliche Dicke und Beschichtung sowie unterschiedliche Materialeigenschaften besondere Maßnahmen für die Verfahrensführung. Ein bekanntes, charakteristisches Merkmal beim Schweißen von ungleichen Werkstücken ist der seitliche Versatz von Fügekante und Schweißnahtmitte. Selbst wenn die Laserstrahlachse ideal entlang der Fügekante geführt wird, bildet sich die Schweißnaht mit einem seitlichen Versatz zu den vorbereiteten Fügekanten aus.

Dieser Versatz muß einen vorbestimmten Wert annehmen. Liegt die Schweißnaht weiter in dem dickeren Blech, so erhöht sich das aufgeschmolzene Volumen und der Fügespalt kann gut aufgefüllt werden. Liegt die Schweißnaht zu weit im dickeren Blech, so wird das dünnere Blech nicht ausreichend angeschmolzen. Liegt die Schweißnaht weiter in dem dünneren Blech, so verringert sich das aufgeschmolzene Volumen, das dickere Blech wird nicht über seiner ganzen Blechdicke angeschmolzen und unerwünschte Einbrandkerben sind die Folge.

## 2 Stand der Technik

Die bekannten Verfahren zur Überwachung mittels off-axis Messung der Plasmastrahlung, der akustischen Emission und deren Auswertung im Zeit- und Frequenzbereich sind nicht so zuverlässig und einfach interpretierbar wie die unten diskutierten Verfahren.

Aus der DE 44 34 409 C1, Anspruch 1, ist ein Verfahren bekannt, das die direkte Bestimmung der Tiefe einer Dampfkapillaren bei axialer Beobachtung betrifft. Die in DE 44 34 409 C1 gelöste Aufgabe ist die Beobachtung der Eindringtiefe von der Oberseite des Werkstückes: Die aus der Dampfkapillaren herrührende Strahlung wird in der Achse der Plasma induzierenden Strahlung beobachtet. Aus der Beobachtung der Emission der Plasmastrahlung des gesamten Bereichs der Dampfkapillaren wird ein **räumlicher Mittelwert** der Intensität bestimmt und als Maß für die Eindringtiefe verwendet. Aus der theoretischen und experimentellen Analyse ist allgemein bekannt, daß dieses Verfahren technisch einfach realisierbar ist, da ein monotoner Zusammenhang zwischen dem räumlichen Mittelwert der Intensität der Plasmastrahlung und der Tiefe der Plasmakapillaren besteht.

Nach allgemein bekannter Erfahrung versagt dieser Zusammenhang, wenn die Tiefe der Plasmakapillare mit ihrer Breite vergleichbar wird. In diesem Fall kann das Plasma fast ungehindert aus der Dampfkapillaren in die Umgebung expandieren. Die vom Plasma emittierte Intensität ist wesentlich geringer und die Eigenschaften der Plasmaemission werden nur schwach von der aktuellen geometrischen Form der Dampfkapillaren beeinflusst.

Aus der DE 197 41 329 C1 (Akte 97/33387-ILT) ist ein Verfahren bekannt, das die direkte Bestimmung der Tiefe einer Dampfkapillaren betrifft und das von der aus DE 44 34 409 C1 bekannten räumlichen Mittelwertbildung bei der Auswertung der Intensitäten abweicht. Wesentlich ist demgegenüber eine Auswertung der Intensität an mehreren Stellen des Beobachtungsbereiches in der Dampfkapillaren. Hier werden z.B. die einzelnen Pixel eines CCD-Kamera Displays getrennt ausgewertet. Die aus der räumlich

aufgelösten Auswertung der Intensität resultierenden Verbesserungen sind in der DE 197 41 329 C1 ausführlich dargestellt.

Nach allgemein bekannter Erfahrung versagt auch dieses verbesserte Verfahren, wenn die Tiefe der Plasmakapillare mit ihrer Breite vergleichbar wird. In diesem Bereich der Werkstückdicken besteht, nach dem allgemein bekannten Stand der Technik, kein auswertbarer Zusammenhang zwischen der Intensität und der Eindringtiefe. Die lokale Tiefe der Dampfkapillaren läßt sich nicht aus dem Meßwert für die Intensität an derselben Position bzw. dem dort positionierten Pixel der CCD-Kamera bestimmen.

### 3 Mit der Erfindung gelöste Aufgabe

Mit der Erfindung wird die Anwendbarkeit der obengenannten Verfahren auf den Bereich kleiner Werkstückdicken erweitert. Die Anwendung der Vorschriften nach DE 44 34 409 C1 und DE 197 41 329 C1 ergibt leider für kleine Werkstückdicken irreführende Ergebnisse für die Werte der Eindringtiefe sowohl bei der Auswertung der räumlich gemittelten als auch der lokalen Intensitätswerte.

Die obengenannten Überwachungsaufgaben (siehe „Technisches Anwendungsgebiet“) können mit der Erfindung auch für geringe Dicken der zu verschweißenden Werkstücke gelöst werden.

Die zusätzliche Aufgaben, die insbesondere beim Verschweißen von dünnen, ungleichen Werkstücken (sogenannten „tailored blanks“) auftreten, können mit der Erfindung gelöst werden.

### 4 Grundzüge des Lösungsweges

Für die Erfindung ist zunächst von Bedeutung, daß von einer Mittelwertbildung (DE 44 34 409 C1) und einer pixelweisen (DE 197 41 329 C1) Auswertung der Intensität im Hinblick auf die Eindringtiefe abgewichen wird. Wesentlich ist demgegenüber eine Auswertung momentaner Plasmaintensitäten im Hinblick auf drei zu unterscheidende räumliche Bereiche. Diese Bereiche treten entweder deutlich voneinander getrennt auf, oder einer der Bereiche fehlt völlig. Aus der Form und der relativen Lage dieser räumlichen Bereiche mit vorbestimmten Werten für die Intensität lassen sich fast alle der oben genannten Bearbeitungsmerkmale während der Bearbeitung bestimmen.

Wir definieren die Beobachtungsebene durch die Orte, an denen lichtempfindliche Pixel z.B. einer CCD-Kamera angeordnet sind. In der Beobachtungsebene liegen räumlich verteilte Intensitätswerte vor, die bisher pixelweise ausgelesen wurden. Entlang jeder Linie auf dem Beobachtungsschirm, die das Zentrum der beleuchteten Pixel enthält, treten drei Extremwerte auf: zwei Maxima und ein relatives Minimum. Diese Extremwerte liegen näherungsweise auf einer Geraden, die gegenüber der Vorschubrichtung geneigt sein kann. Jedem Extremwert wird ein räumlich ausgedehnter Bereich zugeordnet, der diesen Extremwert enthält. Das absolute Maximum liegt immer in dem 1. Bereich, der immer in Vorschubrichtung vor der Laserstrahlachse angeordnet ist. Das zweite Maximum liegt im 2. Bereich, der immer hinter der Laserstrahlachse folgt. Wenn das relative Minimum auftritt, dann liegt es immer in dem dunkleren 3. Bereich zwischen den beiden anderen.

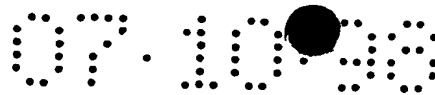


07.10.98

5

Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß bei der Auswertung von einem monotonen Zusammenhang zwischen dem Meßwert für die Intensität der Plasmastrahlung und der Eindringtiefe abgewichen wird. Gegenüber den Vorschriften aus DE 44 34 409 C1 und DE 197 41 329 C1 geben der helle 1. Bereich und der helle 2. Bereich die vorlaufende und nachlaufende Position und Ausdehnung des Randes der Dampfkapillaren an und nicht die Orte mit der größten Eindringtiefe. Dort wo die größte Eindringtiefe auftritt, kann der dunkle 3. Bereich mit besonders kleinen Werten für die Intensität sichtbar werden.

Für die Auswertung ist noch von Bedeutung, daß der hellste 1. Bereich vor der Laserstrahlachse noch eine Substruktur aufweist, die aus zwei räumlich getrennten Maxima rechts vor und links vor der Laserstrahlachse besteht. Nur wenn sich kein Fügespalt zwischen den Fügekanten befindet und gleichartige Materialien bearbeitet werden (Blindschweißung), liegt diese Symmetrie bezüglich der Vorschubrichtung auch in der Intensität dieses 1. Bereiches vor. In Abhängigkeit der Breite des Fügespalt, der Vorschubgeschwindigkeit, der unterschiedlichen zu fügenden Materialdicken und Materialeigenschaften muß ein vorbestimmter Wert für die Asymmetrie der des 1. Bereiches eingestellt werden, um eine gute Schweißung zu erzielen.



6

Eine gute Schweißung dünner Bleche liegt dann vor, wenn

- [1] die Fügekanten und die entstehende Schweißnaht einen vorbestimmten Wert für den seitlichen Versatz aufweisen,
- [2] der Fügespalt von dem aufgeschmolzenem Material vollständig aufgefüllt und damit verbindend überbrückt werden kann,
- [3] mindestens eine Durchschweißung vorliegt, oder besser
- [4] die Oberraupe und die Unterraupe der entstehenden Schweißnaht von der Anwendung vorbestimmte Werte für ihre Breiten aufweisen,
- [5] die oben angegebene Formhaltigkeit während der gesamten Schweißung eingehalten werden kann.

Diese Merkmale für eine gute Schweißung sind in Qualität und Quantität auf die relative Lage und die Form der 3 oben genannten Bereiche in der Intensität abzubilden. Die Merkmale liegen in vollem Umfang vor, wenn

- [1] die Form aller 3 Bereiche eine vorbestimmte Form aufweisen,
- [2] eine abgerundete Form des dunklen 3. Bereiches vorliegt
- [3] wenn der dunkle Bereich sichtbar ist,

(Bemerkung: eine Durchschweißung kann leider auch schon dann vorliegen, wenn der dunkle 3. Bereich noch nicht sichtbar ist. Hier ist die Sichtbarkeit des dunklen 3. Bereichs nur notwendige Voraussetzung für eine Durchschweißung. Allerdings ist die Durchschweißung sicher detektiert, wenn der dunkle 3. Bereich sichtbar ist.)

- [4] der helle 1. Bereich (Oberraupe) und der dunkle 3. Bereich (Unterraupe) einen vorbestimmten Wert für ihre Breiten einhalten
- [5] zeitliche und räumliche Abweichungen klein bleiben.

Typische Schweißfehler können in Qualität und Quantität den Abweichungen der detektierten Bereiche von der oben beschriebenen idealen Form zugeordnet werden.

Ein **Fügespalt** und Unregelmäßigkeiten in der Kantenvorbereitung können sehr deutlich erkannt werden. Dazu ist die geometrische Form des dunklen 3. Bereichs zu beobachten. Weicht die Form des dunklen 3. Bereichs von einer kreisähnlichen Form ab und sind scharfe Begrenzungen zu den helleren 1. und 2. Bereichen zu erkennen, dann liegt an diesen Orten eine vom Laserstrahl noch nicht angeschmolzene Fugekante innerhalb des Beobachtungsbereiches vor. Bei nicht zu großen Werten für den Fügespalt ist zwar schon der 1. helle Bereich deutlich im Bereich der Fugekante unterbrochen, aber der helle 2. Bereich hinter der Laserstrahlachse kann noch auf voller Breite der Schweißnaht vorliegen. Dann kann der Prozeß den Fügespalt noch überbrücken. Allerdings bewirken Abweichungen von den günstigen vorbestimmten Werten Schweißfehler in Form von Einbrandkerben oder sogar eines Nahteinfalles (zu wenig aufgeschmolzenes Material). Bei zu großen Werten für den Fügespalt ist auch der helle 2. Bereich von dem dunklen 3. Bereich entlang der Fugekante unterbrochen.

Dann kann der Fügespalt von dem Prozeß nicht mehr überbrückt werden und der Fügefehler ist vollständig ausgebildet. Auch ein zeitliches Wechseln der beiden Zustände kann vorliegen, wenn die Breite des Fügespaltens einen mittleren, aber schon kritischen Wert erreicht hat. In diesem Falle liegen sporadisch auftretende Verbindungsfehler vor, die mindestens zur Ausbildung von Einbrandkerben führen.

**Einbrandkerben.** Mit zunehmender Spaltbreite und einem gleichzeitigen Versatz zwischen Fügekante und entstehender Schweißnaht wird der hellste 1. Bereich asymmetrisch bis sogar eines der räumlich getrennten Maxima in der Substruktur des 1. Bereiches völlig fehlt. In derselben graduellen Abstufung bilden sich in der erzeugten Schweißnaht Einbrandkerben aus.

**Fehlerzuordnung.** Einbrandkerben entstehen nicht durch eine einzige Ursache. Neben anderen Ursachen können ein Spalt und ein Versatz zur Ausbildung von Einbrandkerben führen. Mit der Erfindung können nicht nur die Fehler selbst, sondern oft auch ihre Ursachen erkannt werden.

**Unregelmäßige Nahttrauben.** Bei ungünstiger Verfahrensführung kann der Prozeß zwischen zwei Zuständen zeitlich wechseln. Dieses Wechseln muß noch keinen Schweißfehler zur Folge haben, führt aber immer zur Ausbildung unerwünschter Unregelmäßigkeiten in den Nahtober- und Nahtuntertrauben, oft auch schon zur Spritzerbildung.

**Spritzerbildung.** Werden die Abweichungen der aktuellen Verfahrensparameter von den günstigen Werten größer, dann sind zusätzlich zu den 3 genannten Helligkeitsbereichen sporadisch auftretende intensiv strahlende kleine „Flecke“ oder „hot spots“ zu beobachten. Diese zusätzlichen hell aufblitzende Bereiche gehen mit einer Spritzerbildung während der Schweißung einher. Im Vergleich zu bekannten Überwachungsverfahren kann mit der Erfindung nicht nur das Auftreten von Spritzern sondern auch ihre Größe bzw. ihr Volumen detektiert werden. Der Volumendefizit für die Schweißnaht ist hier von besonderer Bedeutung.

**Auswertung.** Da die Zuordnung von einfachen geometrischen Formen und relativen Helligkeitswerten des detektierten Bildes den Schweißfehlern verläßlich zugeordnet werden können, kann zu ihrer Auswertung eine automatisierte Bildverarbeitung eingesetzt werden (etwa neuronale Netze, Fuzzy Logic, etc.).

## 5 Einsatzvarianten und Ausführungsbeispiele

Die Erfindung ist überall dort einsetzbar, wo die Schweißtiefe in der Größenordnung der Nahtbreite liegt und die Durchschweißung oder die Nahtbreite sicher erkannt werden müssen.

Insbesondere beim Laserstrahlschweißen von Karosseriebauteilen in der Automobil- und der Zulieferindustrie z.B. bei der Herstellung von Tailored Blanks mit beliebigen Konturen, ist die Erfindung zu verwenden. Das Verfahren kann darüber hinaus im Apparatebau für die Elektro- oder chemische Industrie und bei der Rohrfertigung angewandt werden.

Aufgrund der Integration der Meßeinrichtung in den Strahlengang der Bearbeitungsanlage ist ein unproblematischer Einsatz der Erfindung überall dort möglich, wo eine Laserbearbeitung durchführbar ist. Das Verfahren ist nicht durch die Wahl der Nahtart beschränkt, und kann beispielsweise auch zur Überwachung von Dichtschweißungen an Überlappnähten verwendet werden.

Mit der **Überwachung** des Schweißprozesses ist das Einsatzpotential noch nicht erschöpft, durch die Möglichkeit Fehler in detaillierter Weise zu erfassen und zu beschreiben sind mit der Erfindung darüber hinaus gezielte **regelnde** Eingriffe während der Bearbeitung möglich.

Zur Zeit ist Thyssen Stahl an der Anwendung des Verfahrens interessiert und wird nach Abschluß einer Machbarkeitsstudie des ILT über die Verwendung der Erfindung in der Produktion von 2d Tailored Blanks entscheiden. Thyssen Stahl ist über Vorgang der Erfindungsmeldung und Patentanmeldung informiert, kennt aber die genauen Inhalte noch nicht. Weitere potentielle Interessenten sind die Hersteller von Prozeßüberwachungseinrichtungen für das Laserstrahlschweißen, z. B. Prometec, Jurca Optoelektronik und andere.